

SISTEMA INTELIGENTE PARA DETECCIÓN DE FATIGA Y DISTRACCIÓN EN CONDUCTORES DE CAMIÓN DE ACARREO PESADO EN MINERÍA DE CIELO ABIERTO

Antonio Marín Hernández

Universidad Veracruzana

anmarin@uv.mx

José Alberto Medina Covarrubias

Automotive R&D SA de CV

albertomedinacovarrubias@gmail.com

Dino Alejandro Pardo Guzmán

Automotive R&D SA de CV

dino.pardo@gmail.com

Resumen

Con el crecimiento de la población en el paso del tiempo, los productos en el mercado cada vez son más demandados, por esto, muchas empresas mineras necesitan contratar personas sin experiencia previa en el manejo de máquinas sofisticadas pueden llegar a provocar accidentes. Además, horarios rotativos, en los que los empleados les cuesta acostumbrarse, en especial los turnos nocturnos. Con esta situación, se presentan problemáticas en las que, por consecuencia del cansancio, en otro caso la inexperiencia del usuario, y la imprudencia de algunos trabajadores, se presentan accidentes laborales.

En este trabajo se presentarán los resultados y avances de un sistema de detección de fatiga y distracción en conductores de camiones de volteo tipo Euclid, mejor conocido como de acarreo pesado, en minería de cielo abierto, con una unidad de censado de imagen en infrarrojo, capaz de capturar imágenes de ojos

cubiertos con lentes de sol; un sistema de iluminación con ajuste del eje de polarización y filtro espectral, para reducción de ruido lumínico proveniente de la radiación solar. También se presentan algoritmos de detección de rasgos faciales para localización y monitores de contornos y rasgos faciales. Las imágenes de vídeo y resultado del análisis son distribuidas mediante un sistema de nube híbrida para monitoreo e intervención remota desde una central.

Palabras Claves: Cámara infrarroja, detección de rostros, fatiga, minería.

Abstract

With the growth of the population over time, products in the market are increasingly demanded; so many mining companies need to hire people without previous experience in the handling of sophisticated machines can lead to accidents. In addition, rotating schedules, where employees find it hard to get used to, especially night shifts. With this situation, problems arise in which, due to fatigue, in other cases the inexperience of the user and the recklessness of some workers, work accidents occur.

This paper presents the results and progress of a detection fatigue and distraction truck drivers dump types Euclid, known as Haul truck, in opencast mining system, with a unit sensing infrared image, capable of capturing images of covered eyes presented with sunglasses; a lighting system with adjustable polarization axis and spectral filter for reducing luminance noise from solar radiation. Detection algorithms for locating facial features and contours monitors and facial features are also presented. Video images and analysis results are distributed through a hybrid cloud system for remote monitoring and intervention from a central.

Keywords: Infrared camera, face detection, fatigue, mining.

1. Introducción

La falta de atención de los conductores es uno de los factores de mayor riesgo, causante de muchos accidentes. Según la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), se estima que el 25% de los accidentes reportados involucran la falta de atención de algún conductor. Entre las acciones que

provocan esta falta de atención y por ende las causantes de accidentes, están: los estados de fatiga o adormecimiento y estados coloquialmente llamados como "perdido en sus pensamientos" o "mirando al infinito".

El desinterés de los conductores se considera una disminución del rendimiento del conductor, lo que conlleva a un estado de conducción riesgosa. La American Automobile Association Foundation for Traffic Safety (AAA FTS) utiliza las siguientes cinco categorías para determinar el estado de atención de un conductor [1].

Atento, Distráido, Viendo, pero no observando ("Viendo al infinito") Adormilado, Estado Desconocido la categoría de "Viendo, pero no observando" puede ser considerada como una distracción cognitiva, y la categoría adormilado, se puede considerar igualmente como fatigado.

En este proyecto se tratarán dos de estas categorías: La distracción y la fatiga. Entre las actividades de distracción se encuentran: comer o beber, objetos o eventos externos o internos, hablar y escuchar por teléfono celular, marcación en teléfonos celulares, uso de tecnologías propias del vehículo, etc.

Debido a que las distracciones pueden tomar diversas formas la NHTSA clasifica estas distracciones en cuatro categorías en función de la funcionalidad desde el punto de vista del conductor y son [2]:

Distracción visual (e.g. ver fuera del camino) Distracción cognitiva (e.g. "estar pensando en el infinito") Distracción auditiva (e.g. responder el sonido de llamado del teléfono celular) Distracción biomecánica (e. g. ajustar manualmente el volumen del radio) En ocasiones se consideran dos categorías adicionales, las cuales son: la Distracción olfatoria y la Distracción gustativa. Las actividades distractoras pueden contener varios de estos componentes, por ejemplo: hablar por teléfono celular mientras se maneja genera distracciones: biomecánica, auditiva y cognitiva. El fenómeno se considera diferente en el caso de la fatiga, ya que aquí, la fatiga se refiere a una combinación de síntomas tales que, el rendimiento del conductor se ve deteriorado. Algunos estudios muestran que entre el 25 y 30% de los accidentes de tráfico están relacionados con la fatiga [3].

2. Método

El sistema de detección de fatiga y distracción en conductores, cuenta con una unidad de censado, siendo la cámara con focos infrarrojos que detectan el rostro y los ojos del individuo que conduce el camión, capaz de hacer la detección aun cuando la persona porta gafas oscuras para el sol, lentes de seguridad y/o lentes graduados con o sin anti reflejante.

También, se cuenta con un sistema de iluminación con ajuste del eje de polarización. Este sistema que se le anexa, ayuda a la unidad de censado a reducir el ruido lumínico que produce el sol y puede afectar a la captura de imágenes, dependiendo de la hora del día en el que se esté trabajando y la posición que la unidad de censado tenga en relación al sol.

Una vez el sistema de iluminación elimina el ruido lumínico en la imagen, se tiene el software con librerías para la detección de rasgos faciales, para la localización y monitoreo de contornos y rasgos faciales. Cuando el sistema encuentra sucesos relevantes en la etapa de censado, el sistema cuenta con un mecanismo de nube híbrida en el que el almacenamiento de los análisis y resultados se encuentra en almacenamiento local de la computadora de la cámara, además de la transmisión en vivo desde la plataforma de internet con intervención desde una central.

Esta implementación tiene como finalidad servir de punto de partida para propuestas que mejoren la detección de rostro y ojos. Se implementó un método para este fin, basado en "Highlight features". La salida del método se puede observar en la siguiente figura 1.

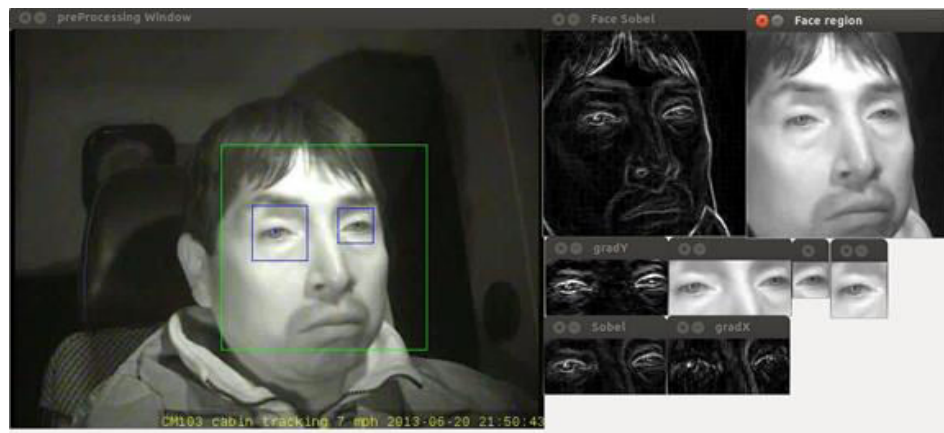


Figura 1 Resultado del algoritmo de detección de rostro y ojos.

Con la implementación de este método inicial, surgió la necesidad de evaluar su desempeño. Para tal fin, se presenta el siguiente proceso a seguir para la evaluación de este método y los próximos que se implementen. La segmentación de video se realizó utilizando las funciones de la librería de *Open Source FFMPEG*.

La segmentación de cada video en los diferentes cuadros (frames) fue necesaria para así poder saber en cada cuadro (frame) si en este había presencia de rostro y ojos. Es decir, la segmentación fue necesaria para realizar un proceso de etiquetado de cada cuadro para poder posteriormente realizar un contraste entre la salida del método, basado en "*Highlight features*" implementado y la información contenida en cada frame.

Para poder realizar la comparativa entre los resultados obtenidos por el método implementado y la información de cada frame, se creó un archivo de validación de cada video segmentado. Esto con el fin de tener una manera simple de acceder a la información contenida en cada frame del video en cuestión. De esta manera, el proceso de validación se simplifica. La nomenclatura seguida para la creación del archivo de validación es la siguiente:

Se crea un archivo en formato CSV (texto delimitado por comas) con el nombre del video al que se hace referencia. La primera línea corresponde a los encabezados para las columnas y es ignorado por la herramienta de evaluación. A continuación, se describen los valores de cada columna:

- Columna 1 = (-1, 0, 1):
 - ✓ 1: Patente encontró rostro
 - ✓ 0: Patente no encontró rostro pero si estaba presente en escena
 - ✓ -1: No hay rostro presente en la escena
- Columna 2 = (1, 0, 1)
 - ✓ 1: Patente detectó ojos
 - ✓ 1: Humano ve rostro en escena
 - ✓ 0: Humano no ve rostro en escena
- Columna 4 = (0,1)
 - ✓ 1: Humano ve ojo derecho en escena

- ✓ 0: Humano no ve ojo derecho en escena
- Columna 5 = (0,1)
 - ✓ 1: Humano ve ojo izquierdo en escena
 - ✓ 0: Humano no ve ojo izquierdo en escena

La implementación del método para la detección de rostro y ojos, tiene como finalidad servir de punto de partida para propuestas que mejoren la detección de rostro y ojos. Se implementó un método para la detección de rostro y ojo con la finalidad de tener mejores resultados, basado en "*Highlight features*". Con la implementación de este método inicial, surgió la necesidad de evaluar su desempeño.

Se realizaron una serie de pruebas, que se simula con diferentes escenarios en los que varias personas con diferentes color de ojos; color de piel; uso de gafas de sol, así como graduadas (con y sin anti reflejante de luz) y con notorios diferentes grado de abertura del párpado. Se pretende forzar o poner en la mayor cantidad de situaciones posibles al sistema de detección de fatiga para saber cuáles son los alcances en el método de detección.

También, una de las principales tareas a realizar para llevar a cabo los experimentos, fue segmentar los vídeos de evidencia. Al segmentar un video, tenemos como resultado un conjunto de *frames* para ser analizados por los las librerías de detección adaptadas. He aquí la importancia de cada *frame*, ya que impactan directamente en los resultados obtenidos sobre los métodos implementados y en métodos futuros a desarrollar, se espera tener mejores resultados.

El criterio usado para la comparativa es encontrar cuál de los dos métodos obtiene *frames* repetidos. Si no hay *frames* repetidos, entonces cuál es el método que ofrece *frames* con el menor grado de similitud. Es decir, el criterio para decidir qué método es mejor para nuestros fines, es determinar cuál método ofrece los *frames* con mayor diferencia entre sí, de tal forma que no se evalúen dos *frames* iguales o muy parecidos. Un primer experimento en este sentido, plantea el siguiente proceso de evaluación de *frames*:

- Cargar todos los *frames* de un vídeo segmentado.
- Para cada *frame* hacer:
- Tomar dos *frames* (el *frame* actual y el *frame* siguiente) y determinar si son iguales o no.
- Si son iguales guardamos un valor 1, en otro caso 0.
- Se grafican los valores del vector de resultados para observar si hay *frames* iguales dentro del conjunto.

Se realizó el proceso de evaluación de los *frames* de cinco vídeos segmentados, con el procedimiento descrito líneas arriba. Los resultados muestran que tanto Opencv como FFMPEG no repiten *frames*.

En la figura 2 se presentan las gráficas de similitud, con FFMPEG a la izquierda y Opencv a la derecha. Dados los resultados que se puede ver que no podemos determinar cuál de los dos métodos es mejor. Por ello y para cumplir con el propósito del objetivo, se planteó el siguiente método:

- Cargar todos los *frames* (cuadros) de un vídeo segmentado.
- Dados dos *frames* (el *frame* actual y el *frame* siguiente) sumar todos los valores de cada pixel del *frame* A y todos los valores del *frame* B.
- Obtener la diferencia absoluta del *frame* A menos el *frame* B.
- Recuperar las diferencias de todos los *frames* analizados y graficar estos resultados.

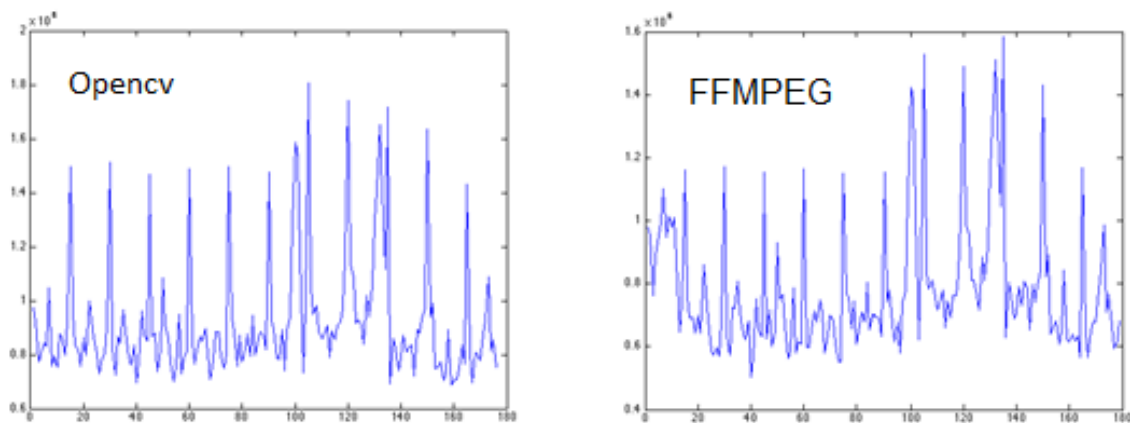


Figura 2 Similitud entre los frames de un video segmentado.

La idea general se presenta en la figura 3, la cual consiste en hacer detección de rostro y ojos. La detección de ojos se verá reforzada por la detección de rostro. La detección del rostro es entonces una validación para la detección de ojos. Una vez detectados los ojos, se recupera el vector de características de esa zona para entonces ser identificado por un clasificador como ojo abierto u ojo cerrado y así poder detectar estados de microsueño en el conductor.

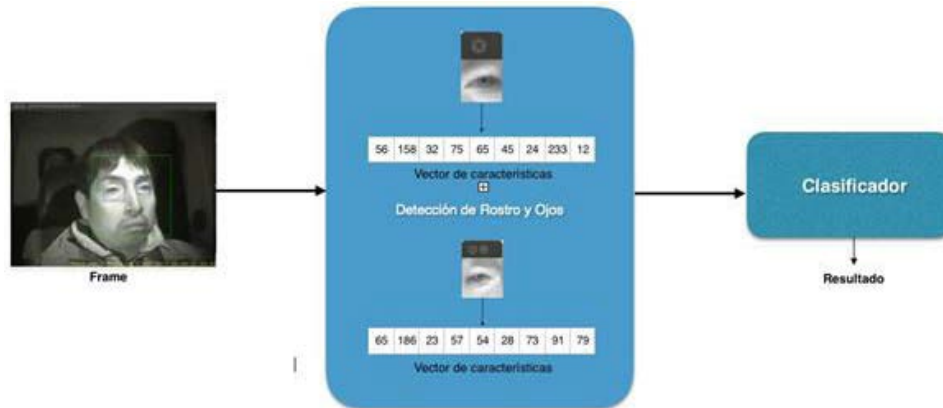


Figura 3 Método para la implementación de detección de microsueños.

Con este planteamiento en mente, se desarrolló una función para recuperar el vector de características de una imagen, con el siguiente procedimiento:

- Tomar como entrada una imagen del tipo Mat (estructura nativa en OpenCV).
- Obtener el promedio de cada columna y almacenarlo en el vector de características.
- Obtener el promedio de cada fila y almacenarlo en el vector de características.
- Devolver el vector de características.

Para las pruebas que se realizaron en la cámara, en diferentes escenarios, entre otros resultados, el más importante suceso ha sido que el uso de cosméticos, generalmente en mujeres, como sombras, delineadores y rímel. Cualquier producto cosmético que se utilice en la zona del rostro cercana al ojo afecta de manera considerable al funcionamiento del sistema, siendo más específico, el funcionamiento del método implementado de detección de rostros y ojo.

3. Resultados

Se describe a continuación, el proceso de validación del algoritmo consiste en tomar para cada frame, la salida dada por el algoritmo. La salida del algoritmo devuelve tres valores, los cuales pueden ser:

- Valor 1 = (0, 1) 0 = No se encontró rostro 1 = Se encontró rostro
- Valor 2 = (0, 1) 0 = No se encontró ojo derecho 1 = Se encontró ojo derecho
- Valor 3 = (0, 1) 0 = No se encontró ojo izquierdo 1 = Se encontró ojo izquierdo.

Se aplica el algoritmo implementado a cada frame y se recopila cada salida. Al final, considerando el archivo de validación para el grupo de frames en cuestión, se realiza una comparativa para determinar en qué casos el algoritmo acierta o tiene error. Los casos pueden ser:

- Si la salida del algoritmo es igual a la observación del humano, entonces es un acierto.
- Si la salida del algoritmo es diferente de la observación del humano es un error.

Pueden ser dos tipos de errores:

- Si el valor del algoritmo es 1 y el valor del humano es 0, entonces se trata de un falso positivo.
- Si el valor del algoritmo es 0 y el valor del humano es 1, entonces se trata de no detección.

Los resultados obtenidos indican un desempeño aceptable por parte del algoritmo de detección de rostros implementado de manera general. Cabe mencionar que la evaluación se realizó utilizando ffmpeg para segmentar los videos. La comparativa del algoritmo implementado va directamente contra las observaciones hechas por el humano. Sin embargo, hay ocasiones en donde su desempeño es nulo, por ejemplo, en el video número 12 en donde la precisión reportada es 0. En otros casos por ejemplo en los videos 15 y 16 se alcanza el 100 de precisión. Para el caso de los ojos el porcentaje de precisión indica poco desempeño del algoritmo

implementado. Esto de momento no preocupa ya que el algoritmo para detección de ojos y su estado, abierto o cerrado serán desarrollados aún. Este algoritmo solo es el punto de partida para mejoras futuras. En los resultados a las pruebas realizadas al sistema, se tiene que la intervención de productos cosméticos afecta en la toma de decisiones del algoritmo, así como la localización de los ojos en el individuo detectado por la cámara.

En la figura 4, se tiene un claro ejemplo en donde el individuo, portaba maquillaje alrededor de sus ojos, tales como rímel en pestañas, sombra en párpados y delineador en la orilla de cada uno de sus dos ojos, además, fue la única persona de las que se les aplicó la prueba con la que se tuvo este tipo de cuestiones, la persona cuenta con las siguientes variables: Color de piel: Blanca Color de ojos: verdes, edad: 27 años, tipo de lentes: graduados con anti reflejante, haciendo énfasis en la detección de los ojos para el posterior procesamiento y decisión del algoritmo para determinar la existencia de distracción o somnolencia en el conductor, se tiene que la persona utiliza lentes graduados con anti reflejante, fue la única persona con ojos color verde en las pruebas (aunque se cree que no hay influencia en la toma de decisiones del algoritmo). La abertura de sus párpados se puede considerar pequeña.

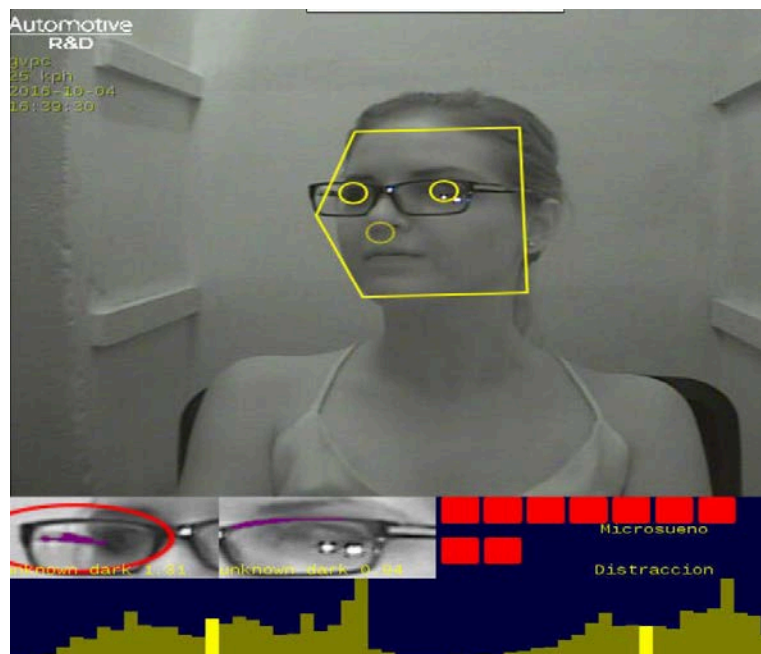


Figura 4 Captura de pantalla donde el algoritmo pierde de la imagen la ubicación del ojo.

Como se logró apreciar en la figura 4, el algoritmo pierde la localización de los ojos y toma como referencias de los ojos, el armazón de los lentes que la persona utiliza. También, cabe recalcar que el uso de luz solar afecta en el reflejo de los lentes que la persona utilizaba mientras se le hacía la serie de pruebas. Como siguiente resultado de una satisfactoria detección de ojos, teniendo las figuras 5 y 6 como referencia a esas detecciones correctas.

Como se logra apreciar en las figuras 5 y 6, la persona a la que se le realizan pruebas con y sin lentes oscuros para el sol, se obtienen resultados positivos y entre un umbral para de detección de rostros y ojos, el algoritmo no tuvo mayor dificultad para realizar la toma de decisiones.

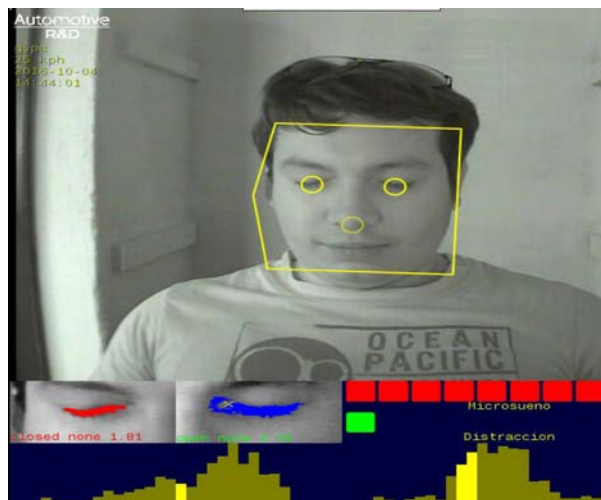


Figura 5 Captura de pantalla que muestra la detección de micro-sueños a la persona.

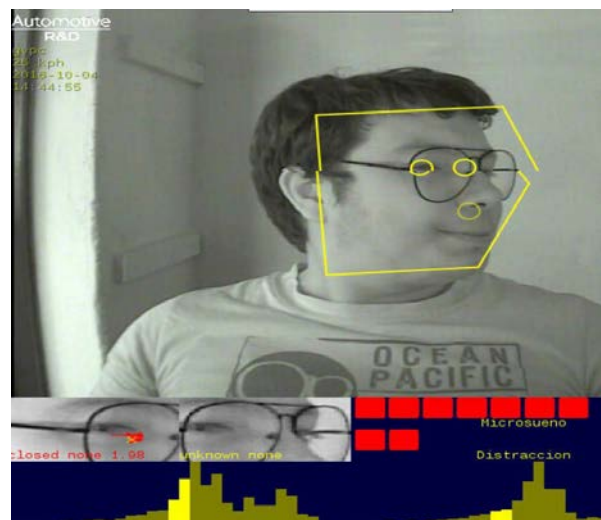


Figura 6 Método detectando ojos de un sujeto portando lentes.

Mediante una prueba con un público selecto, en el que las diferencias en rasgos, sexo, maquillaje, color de ojos, color de piel y edad, fueron los principales atributos para obtener resultados de interés. En tabla 1 se muestran los participantes, así como si se logró la detección de micro-sueño y distracción, así como observaciones de lo que cada participante aportó a las pruebas gracias a sus atributos.

Tabla 1 Resultados de las pruebas operativas del sistema.

Persona	Color ojos	Detección de microsueño	Detección de distracción	Observaciones
1	Marrón	Sí	Sí	El funcionamiento de la cámara se ve afectado con el reflejo de la luz en combinación con el maquillaje (sombra para los ojos, brillante) mientras Mariela utiliza lentes graduados.
2	Ocre	Sí	Sí	El funcionamiento de la cámara no afecta ante su color de ojos, ni su color de piel.
3	Verde/ ocre	Sí	Sí	La detección se hizo sin mayor complicación, la cámara realizó su trabajo como es esperado.
4	Verdes	No	Sí	La persona usaba sombra entre otros maquillajes alrededor de sus ojos e influye en la toma de decisiones del algoritmo para la detección de micro sueños, ya que el algoritmo confunde ojos cerrados usando maquillaje con ojos abiertos normalmente.
5	Marrón	Sí	Sí	El funcionamiento de la cámara se vio ligeramente afectado por el tamaño de ojos de la persona, había ocasiones en el que perdía la localización del ojo.
6	Marrón	No	Sí	Se detectó una complicación en la detección de microsueños. La persona usaba cosméticos como sombras, rímel y corrector durante la prueba; además de utilizar lentes graduados con anti reflejante.
7	Café claro	Sí	Sí	Ningún tipo de maquillaje, la cámara no tuvo algún inconveniente en reconocer los microsueños en la persona.
8	Marrón	No	Sí	Se presentaron complicaciones en la detección de microsueños en esta persona, cabe recalcar que utilizaba maquillajes tales como sombras, delineador, rímel, entre otros.

4. Discusión

En el presente trabajo se desarrolló un sistema de asistencia tecnológico para la detección y monitoreo de prácticas de riesgo, en operadores de transporte de carga o autobuses de pasajeros. Se ofrece una alternativa para el control de dichas actividades con lo cual se evitarían accidentes y se reducirían daños a propiedad privada, así como lesiones e incluso pérdidas de vidas humanas.

El dispositivo final elimina el uso de cómputo externo, integrar partes y componentes ópticos externos de uso rudo (usabilidad en minas y trailers), diseño de geometría cámara-fuente, integración de filtros y polarizadores para maximizar la tasa señal/ruido, diseño y ajuste de algoritmos para detección de modo de operación inseguro, optimización de PCB para manufactura de una primera corrida piloto.

Uno de los principales casos en este trabajo, fue la complicación a la que el método fue sometido, en la detección de micro sueños con personas que utilizaban maquillajes alrededor del ojo, tales como rímel, corrector, delineador, sombras. También el algoritmo tuvo sus complicaciones con la detección de micro sueños con lentes graduados con anti reflejante, siempre y cuando, la persona esté en una posición frontal hacia los rayos del sol.

En últimas pruebas se obtuvo que los lentes con anti reflejante demostraban ser un impedimento en menor escala para la detección de ojos cerrados en el sistema de detección de fatiga, ya que hacen interferencia con los sensores infrarrojo del sistema de censado utilizado.

Se pretende tener una serie de cosméticos apropiados para la cámara, o más bien, cosméticos que de preferencia no sean de uso en el ojo de la persona que los utilice. También, una serie de lentes en los que la toma de decisiones no influya con el reflejo que hay del sol en los lentes que la persona utilice.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] J. C. Stutts, D. W. Reinfurt, L. Staplin, and E. A. Rodgman. (2001). The role of driver distraction in traffic crashes. Washington, DC, USA: A A A Found. Traffic Safety.

- [2] T. A. Ranney, E. Mazzae, R. Garrott, and M. J. Goodman. (2000, julio). NHTSA driver distraction research: Past, present, and future. Transp. Res. Cen- ter Inc., East Liberty, OH, Tech. Rep.
- [3] RoSPA. (2001). Driver fatigue and road accidents: A literature review and position paper. The Royal Society for the Prevention of Accidents (RoSPA). Birmingham. <http://www.rospa.com/rospaweb/docs/advice-services/road-safety/drivers/fatigue-litreview.pdf>.